

PAT-NO: JP410144521A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10144521 A

TITLE: 360° HELICALLY ROTATING DOUBLE-POLE MAGNETIC FIELD  
GENERATING ELECTROMAGNET

PUBN-DATE: May 29, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

NAKAMURA, MAKOTO

SAEKI, MITSURU

INT-CL (IPC): H01F007/06, H05H007/04

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To generate a good-quality double-pole magnetic field by combining electromagnets of angles of helical rotation 180°; or less in series, and generating a magnetic field rotating 360°; in the axial direction.

SOLUTION: A 360°; helically rotating double-pole magnetic field generating electromagnet is composed of three 120°; helically rotating double-pole magnetic field generating electromagnets. Each 120°; helically rotating double-pole magnetic field generating electromagnet consists of coils 9, 10 rotating 120°; helically, a tube 7, block collars 8 for determining the coil positions, and collars 6 for fixing the coils. By arranging three units of these 120°; helically rotating double- pole magnetic field generating electromagnets in series, a double-pole magnetic field rotating 360°; helically is generated. The three helically rotating double-pole magnetic field generating electromagnets are fixed by a yoke 5 in a bundle. Moreover, they are assembled in a vacuum container 3, a liquid helium shield 1 and a liquid nitrogen shield 2 for keeping superconductors at low temperatures, and the vacuum container 3 is supported by a frame 4. Consequently, it becomes possible to ensure the positional precisions of the coils.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-144521

(43)公開日 平成10年(1998) 5月29日

(51)Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	F I
H 0 1 F 7/06		H 0 1 F 7/06 B
H 0 5 H 7/04	Z A A	H 0 5 H 7/04 Z A A

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平8-294816

(22)出願日 平成8年(1996)11月7日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 中村 真

茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会

社日立製作所日立工場内

(72)発明者 佐伯 満

茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会

社日立製作所日立工場内

(74)代理人 弁理士 小川 勝男

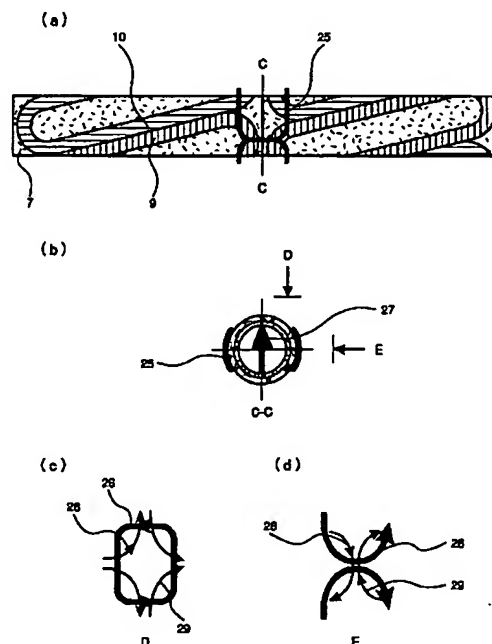
(54)【発明の名称】 360°ヘリカル回転二極磁場生成電磁石

(57)【要約】

【課題】長軸方向にヘリカルに360°回転する磁場を生成する電磁石に置いて、電磁石を構成するコイルを分離独立して巻き線することができる構造を得る。

【解決手段】ヘリカル回転角が180°以下の複数の二極磁場生成電磁石を、長軸方向に直列に配置するとともに、隣接する電磁石間に端部磁場補正用の補正コイル25を配置する。

図 8



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】コイルを固定するチューブと、その長軸方向にヘリカルに $360^\circ$ 回転するヘリカル回転二極磁場を生成するコイルを有する電磁石において、ヘリカル回転角が $180^\circ$ より小さい二極磁場生成コイルをその長軸方向に複数配置することを特徴とする $360^\circ$ ヘリカル回転二極磁場生成電磁石。

【請求項2】請求項1において、コイル線材として化合物接着層を持つフィルムで被覆された超伝導線材を巻き線する $360^\circ$ ヘリカル回転二極磁場生成電磁石。

【請求項3】請求項1または請求項2において、加圧キュア時に前記化合物接着層を高温度で硬化させコイルの成型を行い、コイル周方向の位置精度が $0.1\text{mm}$ 以内、径方向位置精度 $0.05\text{mm}$ 以内である $360^\circ$ ヘリカル回転二極磁場生成電磁石。

【請求項4】請求項1、請求項2または請求項3において、超伝導線として、複数本の超伝導素線を束ね全体を一層の周上でツイストし、矩形に成型した物を用いるヘリカル回転二極磁場生成電磁石。

【請求項5】請求項1、請求項2、請求項3または請求項4において、臨界電流密度が $4\text{T}$ 以上の磁場、 $4.2\text{K}$ で $1700\text{A}/\text{mm}^2$ 、負荷率 $80\%$ 以上で運転可能であるヘリカル回転二極磁場生成電磁石。

【請求項6】請求項1、請求項2、請求項3、請求項4または請求項5において、 $360^\circ$ ヘリカル回転二極磁場生成電磁石を構成する二極磁場生成コイルのヘリカル回転角が $120^\circ$ 以下である $360^\circ$ ヘリカル回転二極磁場生成電磁石。

【請求項7】請求項1、請求項2、請求項3、請求項4、請求項5または請求項6において、直列に配置した電磁石間に、補正コイルを配置する $360^\circ$ ヘリカル回転二極磁場生成電磁石。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、荷電粒子の円形加速器に係り、特に、 $360^\circ$ ヘリカル回転する二極磁場を生成する電磁石に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来技術はSpin Note AGS/RHIC/SN No.001 (January 19, 1996) に記述されている。

【0003】ビーム進行方向に $360^\circ$ ヘリカル回転する二極磁場を生成する電磁石は、図2のように、コイルがその長軸方向(ビーム進行方向)に沿って、 $360^\circ$ ヘリカル回転する構造になっている。X-X断面での磁場の向き15は、軸方向(ビーム進行方向と垂直な面内)に沿ってヘリカル回転する磁場の向きを表している。電磁石を構成する鞍型のコイル12及び13は、互いに $360^\circ$ ねじり合わさる構造をしている。そのため、コイル12、コイル13は単独で製造しその後組み合わせることができない。従って、コイルをチューブ1

4に直接巻く製法をとらなければならない。従来は、コイルの配置は、コイルを巻くチューブにあらかじめヘリカル状に溝を掘り、その溝に導線をはめ込むことによって、コイルのヘリカル形状の成型及びコイル位置精度を出していた。発生させる磁場が低い場合には本構造でも十分であるが、加速器の要望により $4\text{T}$ 以上のヘリカル磁場が必要な場合は、超伝導線のコイルを巻き線することが必要である。この場合、従来の構造では高負荷、高精度のコイルを構成することはできなかった。

## 10 【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の構造ではコイルを単独で成型し、後から組み立てる方法をとることができない。このため成型はコイルを巻き終わった後に、チューブごと加熱して行われる。また、コイル位置は、チューブに $360^\circ$ ヘリカル回転する溝に導線をはめ込むことによって確保するが、溝を加工する場合、溝が $360^\circ$ ヘリカル回転しているために精度よく加工することができない。従って高いコイル位置精度の確保が難しい。コイル位置精度は、電磁石の作る磁場性能に直結しているため、良質の二極磁場を生成することができない。

【0005】また導体として、超伝導線を使用する場合、コイル周方向に直接加圧できない、即ち、コイル周方向のプリストレスを十分に加えることができない。従って、磁場発生時の導体の動きを抑制できないため、励磁中のワイヤムーブ(導体の動き)によりクエンチ(超伝導喪失)し、高負荷率運転が不可能となる。また導体の動きにより高磁場成分が発生し、磁場性能を満たすことができなくなっている。

## 30 【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題は、ヘリカル回転角が $180^\circ$ 以下である電磁石を直列に組み合わせ、軸方向に $360^\circ$ 回転する磁場を生成することによって解決される。

【0007】ヘリカル回転角が $180^\circ$ より小さな回転角を持つヘリカル回転二極磁場生成電磁石は、回転角が小さいことにより電磁石を構成する二つのコイルを別々に製造して後から組み合わせて製造することができる。直接チューブに巻かないために、ヘリカル回転角を持たない二極電磁石の製法が応用できる。例えば成型時に治具を用いてコイルの巻き位置精度を出すことができ、これにより良質の二極磁場を生成することができる。さらに超伝導線を用いる場合には、コイル周方向に対して直接プリストレスをかけることができるので、磁場発生時の導体の動きを抑制でき、臨界電流密度が、 $5\text{T}$ の磁場、 $4.2\text{K}$ において $1700\text{A}/\text{mm}^2$ 、負荷率 $80\%$ 以上の高負荷率での運転が可能になる(図3)。特にヘリカル回転角が $120^\circ$ 以下のコイルで構成する場合は上下の加圧によりコイル周方向にプリストレスがかけられるので合理的である。

【0008】

【発明の実施の形態】図1を用いて本発明の実施例を説明する。

【0009】図1は360°ヘリカル回転二極磁場生成電磁石の全体図であり、主要部分は3台の120°ヘリカル回転二極磁場生成電磁石によって構成される。

【0010】11はチューブ7、120°ヘリカル回転コイル9、10を横から見た図である。1台の120°ヘリカル回転二極磁場生成電磁石は120°ヘリカル回転するコイル9、10、チューブ7、コイル位置を決定するブロックカラー8、コイルを固定するカラー6から成る。この120°ヘリカル回転二極磁場生成電磁石を直列に3台並べることによって360°ヘリカル回転する二極磁場を生成する。3台のヘリカル回転二極磁場生成電磁石は、ヨーク5により一まとめに固定される。さらに、超伝導体を低温に保つための液体ヘリウムシールド1と液体窒素シールド2、真空容器3の中に組み込まれる。真空容器3は架台4により支える。図4はコイル9、10とチューブ7の拡大図とコイル断面内の磁場方向を示す。17は円筒状に組み合わさっている、コイル9、10、チューブ7を軸方向に切って展開した図である。コイル断面での磁場の向き16はコイル9、コイル10がヘリカルに回転するのに合わせて回転し、120°回転する磁場を作り出している。この360°ヘリカル回転二極磁場生成電磁石は直流電源により励磁運転する。またコイル導体の超伝導状態を維持するための冷却系と、断熱の為に真空排気系が必要である(図5)。

【0011】図4のコイル9とコイル10はヘリカル回転角が120°であり、図6に示す120°マンドレル19とヘリカルに捻れているセンターポスト18を用いて巻き線を行う。導線20をセンターポスト218に沿って適当なテンションをかけながら巻き線を行う。巻き線後のコイルの成型を図7に示す。成型時は120°のヘリカル回転角をもつ押し治具を用いて行う。コイルの断面位置はセンターカラー23により決定される。押し治具、センターカラーはMC旋盤により加工する。押し治具24とセンターカラー23はA-A、B-B、C-C断面に示すように軸方向に沿ってコイルと同じ回転角でヘリカルに回転している。矢印21方向に圧力を加えることにより、押し治具24を通してコイル22の周方向に直接圧力を加えることができる。つまり、120°以下のヘリカル回転角の場合は、上下方向の加圧でコイル周方向のアリストレスを加えることが可能である。超伝導線の化合物接着層をウォームブロック内に組み込まれているヒータを用いて、温度をコントロールしながら高温硬化させコイルを成型する。

【0012】電磁石を直列に配列したことにより、隣接する120°ヘリカル回転二極磁場生成電磁石の端部の影響で不正磁場が生じる。図8に二極磁場を生成する補

正コイルを用いて磁場補正を行う例を示す。補正コイルは2台の120°ヘリカル回転二極磁場生成電磁石の連結部分に配置される。矢印27は補正コイル26が置かれているC-C断面において、補正コイル25が作り出す磁場の向きを示している。D、EはC-C断面図に置いて、D方向、E方向からみたときの電流の向きを示している図である。矢印28、29はそれぞれの端部での電流の流れる向きを示している。矢印26は補正コイル25に流れる電流の向きを示している。補正コイルの電流は電磁石端部の電流と逆向きに流し、端部電流のつくる磁場を打ち消す役割をはたす。以上は、電磁石のヘリカル回転角120°の直列配置により説明したが、ヘリカル回転角90°の電磁石を4直列に配置することによっても同様な効果が得られる。

【0013】360°ヘリカル回転二極磁場生成電磁石は、製作効率上同じヘリカル回転角を持つコイルにより構成された方がよい。またコイル端部での不正磁場の影響を少なくするためには1コイル当たりのヘリカル回転角は大きな方がよい。このことからコイル1台当たりのヘリカル回転角は一般には120°が最適であると考えられる。

【0014】

【発明の効果】上下コイルを分離独立して製作可能としたために、各コイルを従来の二極電磁石の製法を応用して成型することができる。これにより、コイル断面でのコイル位置精度を確保し、良質の二極磁場を生み出す360°ヘリカル二極磁場生成電磁石を製作することができる。またコイル導体として超伝導体を用いる場合、適当なアリストレスを加えることが可能となり、高負荷率で運転が可能な360°ヘリカル二極磁場生成超伝導電磁石を製作することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の説明図。

【図2】従来技術の説明図。

【図3】本電磁石のロードラインの特性図。

【図4】本発明の電磁石の説明図。

【図5】360°ヘリカル回転二極磁場発生電磁石運転の為に必要な系のブロック図。

【図6】ヘリカル回転角が120°である二極磁場生成電磁石用コイルの巻き線用治具の説明図。

【図7】ヘリカル回転角が120°である二極磁場生成電磁石用コイルの成型法の説明図。

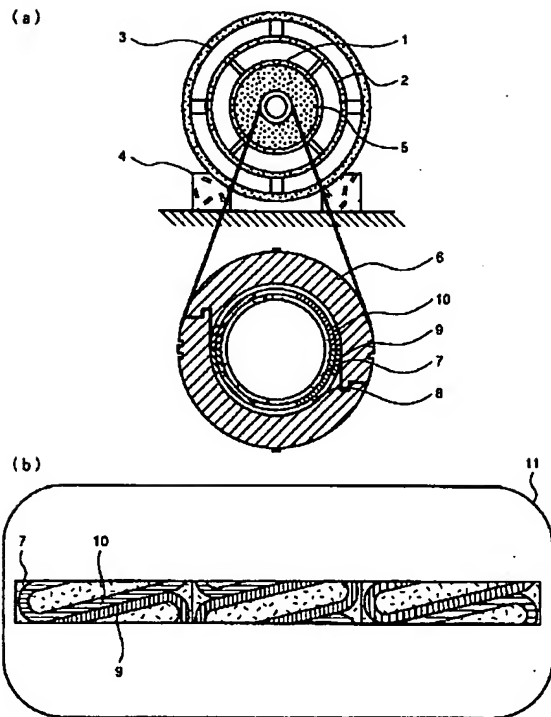
【図8】電磁石連結部での、補正コイルと電磁石端部の電流の向きの説明図。

【符号の説明】

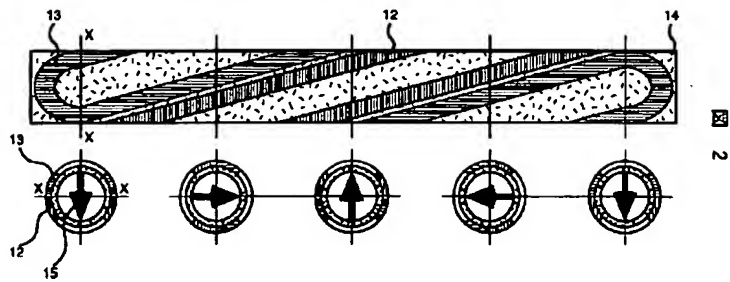
7…チューブ、9、10…120°ヘリカル回転コイル、25…補正コイル、26、28、29…電流の向き、27…磁場の向き。

【図1】

図 1

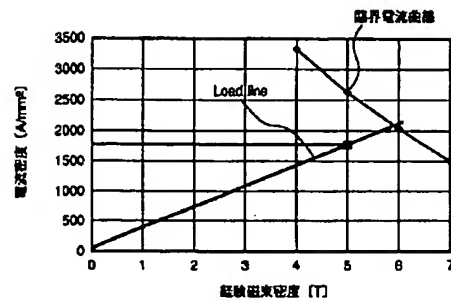


【図2】



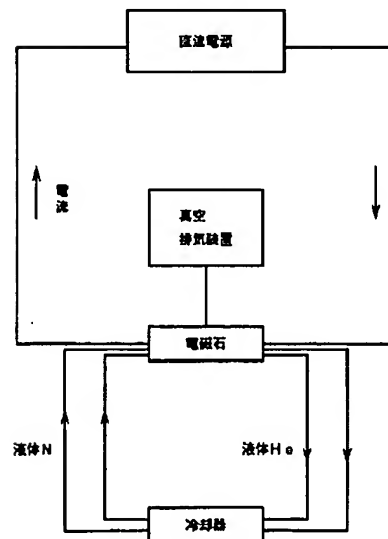
【図3】

図 3



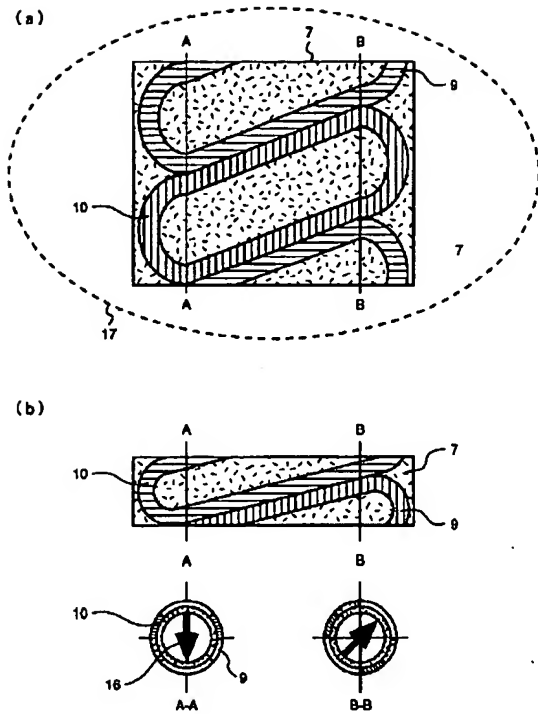
【図5】

図 5



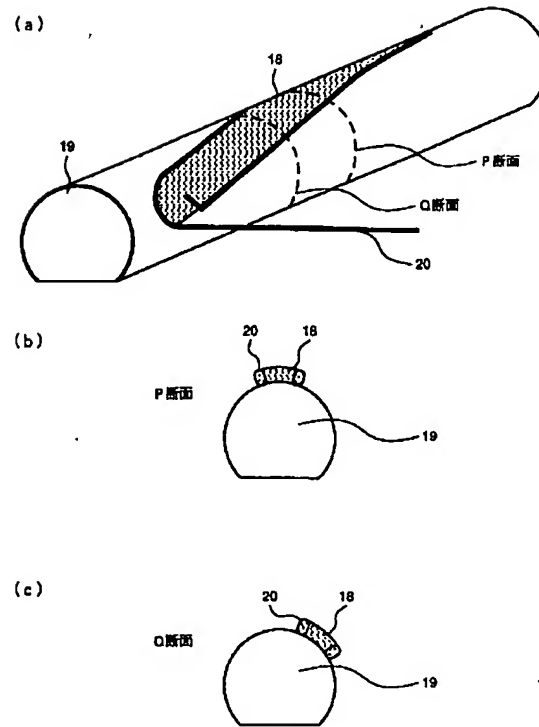
【図4】

図 4

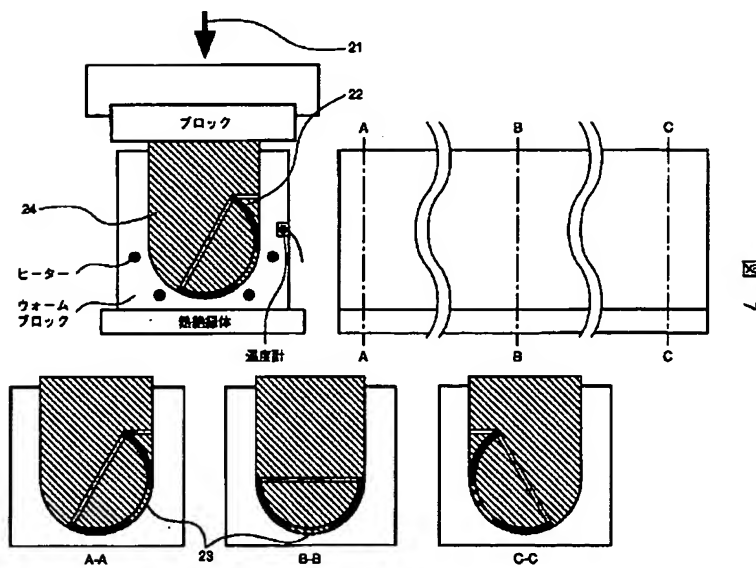


【図6】

図 6



【図7】



【図8】

図 8

